第 37 卷第 13 期　　　　生　态　学　报　　　　Vol.37,No.13
2017 年 7 月　　　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　　　Jul.,2017

DOI: 10.5846/stxb201603240523

孙萌,刘洋,李保国,齐国辉,张雪梅.核桃园行内地面覆盖的土壤微域生态效应.生态学报,2017,37(13):4434-4443.

Sun M, Liu Y, Li B G, Qi G H, Zhang X M.Ecological effects of within-row mulching on soil microsites in walnut orchards.Acta Ecologica Sinica,2017,37(13):4434-4443.

# 核桃园行内地面覆盖的土壤微域生态效应

孙　萌[1],刘　洋[1],李保国[1,2],齐国辉[1,2,*],张雪梅[1,2]

1 河北农业大学林学院,河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 保定　071000
2 河北省核桃工程技术研究中心, 临城　054300

**摘要**:为了探明核桃园行内地面覆盖的土壤微域生态环境效应、确立核桃园科学省力的土壤管理措施,以盛果期早实薄皮核桃'绿岭'为试材,通过连续 4 a 的行内地面覆盖,研究了园地土壤的水分、通气、矿质营养及三大微生物区系等微域生态环境的状况,结果表明:通过连续四年覆盖,0—20 cm 土层,覆盖牛粪、碎木屑、苜蓿处理及 CK 2014 年核桃生长期的土壤平均质量含水量的变异系数分别为 9.27%、10.27%、12.15%和 13.96%,最大变幅分别为 1.86%、1.95%、2.17%和 2.63%;20—40 cm 土层,覆盖牛粪、碎木屑、苜蓿处理及 CK 的土壤平均质量含水量分别为 13.23%、12.46%、11.77%和 11.43%。覆盖牛粪、碎木屑、苜蓿及 CK 的 0—60 cm 土层的平均土壤容重为 1.34、1.38、1.43 $g/cm^3$ 和 1.48 $g/cm^3$,3 类微生物总量分别为 $430.94\times10^4$、$208.87\times10^4$、$183.42\times10^4$个/g 和 $160.46\times10^4$个/g。通过主成分分析对覆盖牛粪、碎木屑、苜蓿处理及 CK 的土壤肥力进行综合评价,得分分别为 0.61、0.26、0.09和-0.96,各因子对土壤肥力水平的综合效应排序为:土壤有机质含量>全氮含量>全钾含量>全磷含量>土壤质量含水量>孔隙度>细菌数量>真菌数量>放线菌数量>土壤容重。

**关键词**:地面覆盖;核桃;土壤微域;生态效应

# Ecological effects of within-row mulching on soil microsites in walnut orchards

SUN Meng[1], LIU Yang[1], LI Baoguo[1,2], QI Guohui[1,2,*], ZHANG Xuemei[1,2]

1 *College of Forestry, Agricultural University of Hebei/ Key Lab of Genetic Resource of Forest and Forest Protection of Hebei Province, Baoding* 071000, *China*
2 *Research Center for Walnut Engineering and Technology of Hebei, Lincheng* 054300, *China*

**Abstract**: In recent years, walnut (*Juglans regia* L.) has become one of the state strategic economic tree species. However, although traditional soil management practices, such as intensive agriculture and deep tillage, are both time- and energy-consuming, they are still used in most walnut orchards. Therefore, it is imperative to develop a simple and effective soil management strategy to replace traditional practices. In the present study, we investigated the ecological effects of within-row mulching in soil microsites, which has been very popular in both Japan and America, and established an effective soil management practice in walnut orchards. Precocious 'Lvling' walnut trees in full fruit were used as trial materials, and soil ecological conditions, such as soil moisture, soil aeration, mineral nutrition, and three kinds of microflora (bacteria, fungi, and actinomyces), were studied in response to continuous within-row mulching. In the 2014 growing season, we found that the variation coefficients of soil water content of the 0—20 cm layer of soil mulched with dairy manure, wood chips, alfalfa, and control (non-mulching) were 9.27%, 10.27%, 12.15%, and 13.29%, respectively, and the maximum amplitudes were 1.86%, 1.95%, 2.17%, and 2.63%. Meanwhile, the average water contents of the 20—40 cm soil layer were 13.23%, 12.46%, 11.77%, and 11.43%, and the maximum amplitudes were 1.

**基金项目**:国家林业行业公益专项(201504408);河北省科技支撑计划项目(16236810D)

**收稿日期**:2016-03-24;　　**网络出版日期**:2017-02-23

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: bdqgh@sina.com

58%, 1.61%, 1.71%, and 2.44%, whereas the variation coefficients were 7.96, 9.49, 9.70, and 11.11%. In addition, continuous within-row mulching reduced the maximum amplitudes and variation coefficients of soil water content, which indicated that the soil moisture was more stable. The soil bulk densities in the 0—60 cm soil layer were 1.34, 1.38, 1.43 g/cm$^3$, and 1.48 g/cm$^3$; the total porosities were 37.62%, 36.19%, 35.29%, and 29.03%; and the maximum water capacities were 752.40, 723.80, 705.87, and 580.67 t/hm$^2$. In addition, the density of three kinds of microflora (bacteria, fungi, and actinomyces) were 430.94×10$^4$, 208.87×10$^4$, 183.42×10$^4$ cfu/g, and 160.46×10$^4$ cfu/g, in soils mulched with dairy manure, wood chips, alfalfa, and control (non-mulching), respectively; the Shannon-Wiener indices were 0.62, 0.58, 0.41, and 0.30; and the Simpson′s diversity indices were 0.24, 0.21, 0.13, and 0.09. Therefore, our findings indicated that both soil aeration and microbial diversity were improved by mulching. Principal component analysis further indicated that the comprehensive scores of soil fertility with mulching dairy manure, wood chips, alfalfa, and control (non-mulching) were 0.61, 0.26, 0.09, and −0.96 and that the comprehensive effect order of the various fertility factors on soil fertility level was: organic matter > total N > total K > total P > water content > soil porosity > bacteria > fungi > actinomyces > soil bulk density. Therefore, the present study demonstrates that within-row mulching is beneficial to the development of soil microsites and that dairy manure was the most effective among the three mulching materials investigated, followed by wood chips and alfalfa, respectively. However, in the long-term, the effects of within-row mulching remain unclear and require further investigation.

**Key Words**: mulching; walnut; soil microsite; ecological effect

近年来,核桃(*Juglans regia* L.)已经成为我国迅速发展的国家战略性经济林树种之一,我国核桃无论在栽植面积上还是在单位面积产量上都有了巨大增加。但是,随着现代农村经济的发展,劳动力紧缺、劳动力价格高已成为核桃栽培过程中的重要问题,然而大部分核桃园仍采用传统的土壤管理模式,即精耕细作、深翻施肥等,费工费力。开发操作简单省力、有利于土壤生态系统可持续发展的土壤管理模式已势在必行。覆盖法、生草法在日本、美国等国家早已广泛应用,我国近几年在苹果园内也在快速推广[1-2],在核桃园内,作为省力化土壤管理的重要方法,覆盖法也开始被应用[3]。

已有研究表明,地面覆盖可以作为地面与大气环境的有效隔层,增强地面对大气环境剧烈变化的缓冲作用[1-2],可以有效降低园地土壤水分蒸发,改善土壤水分状况[4]。覆盖物可以减轻人畜的干扰以及雨水对地面土壤冲击,使表土不被压实而下沉,并可以消除阳光暴晒而引起的表土硬结龟裂,使土壤保持良好的结构,从而改善土壤孔隙状况[5-6]。与未覆盖的自然状态相比,稻草、谷糠和厩肥等地面覆盖物可以显著增加土壤的可利用氮、磷、钾含量,其中覆盖厩肥的效果最佳[7]。牛粪、秸秆作为供肥覆盖物可显著提高园地土壤的有机质和养分含量[8]。并且覆盖可以促进微生物活动,使土壤微生物增殖快,类群丰富[9],促进营养物质的分解和转化[10],提高土壤生态系统的稳定性[11-12]。

关于核桃园地面覆盖,刘洋等[13]研究了玉米秸秆覆盖对核桃幼园土壤养分及微生物数量的影响,本文作者前期研究了覆盖核桃园对土壤理化性质的影响[3],大部分研究均集中在覆盖的单方面效应上,对于盛果期核桃园行内连年覆盖的土壤微域生态环境综合效应还未见报道。为此,本文通过对盛果期核桃园连续 4 年进行行内地面覆盖,研究了土壤水分状况、通气状况、矿质营养及微生物多样性的变化,以期为构建新型的核桃园土壤管理模式提供理论依据。

## 1　试验材料与方法

### 1.1　试验设计

以河北绿岭果业有限公司示范基地 2007 年春季栽植的核桃-苜蓿复合林为试验地,该试验地位于太行山南段东麓丘陵区,年均日照 2653 h,年平均气温 13 ℃,极端最高气温 41.8 ℃,最低−23 ℃,无霜期 202 d,年均

降水量 521 mm。

选择生长发育良好、树势相对一致的'绿岭'核桃树 120 株,株行距为 3 m×5 m,以牛粪、碎木屑(核桃树修剪下来的枝条粉碎)、苜蓿(行间种植,待开花后刈割)为覆盖材料,以不覆盖为对照,每个处理 10 株树,随机区组设计,3 次重复,其他均为常规管理,主要包括开沟施有机肥、行内清耕等,牛粪覆盖处理无需再施有机肥。本底取样后,自 2011 到 2014 年,每年 4 月下旬将牛粪、碎木屑按试验设计覆盖到树行内,厚度均为 10 cm、于 6 月 10 日(苜蓿开花后)将苜蓿覆盖到树行内,干草厚度仍为 10 cm(后期如有变动,随时补盖,以保证厚度为 10 cm)。

2013 年,分别于 5 月 20 日、6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 20 日、9 月 20 日和 10 月 20 日取 0—20、20—40、40—60 cm 3 个层次土样 1 次,处理内 3 次重复,测定土壤质量含水量。2014 年,分别于 5 月 20 日(园地灌水后 20d)、6 月 20 日、8 月 20 日、9 月 20 日和 10 月 20 日取 0—20、20—40、40—60 cm 3 个层次土样一次(7 月份降水过多,未能进行取样),测定土壤质量含水量。2014 年 11 月 20 日,挖 60 cm 深的土壤剖面,用环刀分 0—20、20—40、40—60 cm 3 个土层取土,并测其土壤含水量、土壤容重、孔隙度及持水量,取 3 个土层的平均值代表该土壤剖面的物理指标值。用剖面刀分 0—20、20—40、40—60 cm 3 个土层取土,混匀,取约 200 g 土带回实验室,一部分风干过筛,测定矿质元素及有机质含量,另一部分将取好的土样放入密封袋内,置于 4 ℃冰箱保存,测定微生物数量。

### 1.2 测定方法

土壤质量含水量的测定采用烘干法[14],并计算其生长期均值、最大变幅、变异系数。其中,最大变幅是指相邻的两个月份土壤水分的变化幅度最大值,变异系数为标准差与平均值的比值。

土壤容重、土壤孔隙度及持水特性采用环刀法测定[15]。

土壤全 N 的测定采用凯氏定氮法,全 P 的测定采用钼锑钪比色法,全 K、速效 K 的测定采用原子吸收分光光度计法,土壤碱解氮测定采用碱解扩散法,土壤速效 P 的测定采用 0.05 mol/L $NaHCO_3$法,土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法[14]。

微生物数量测定均采用平板接种法[16-17]。细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基、改良高氏一号培养基进行培养,然后计数,并计算香农-威纳指数(Shannon-Wiener Index)和 Simpson's 多样性指数(Simpson's Diversity Index)。

### 1.3 数据分析方法

数据采用 Duncan LSR 法进行统计分析,并进行主成分分析及通径分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 地面覆盖对园地土壤水分环境的影响

#### 2.1.1 地面覆盖对园地土壤含水量的影响

覆盖处理园地 2013 年、2014 年核桃生长期内的土壤质量含水量如图 1 至图 6 所示。

由图 1、图 2 可见,在核桃的整个生长期内,覆盖处理的 0—20 cm 土层土壤质量含水量均高于未覆盖的 CK,其中,覆盖牛粪和覆盖碎木屑的土层土壤质量含水量极显著高于其他处理,覆盖苜蓿的与 CK 之间无显著差异。因此认为,覆盖可以提高生长期内 0—20 cm 土层土壤含水量,显著改善该层园地土壤的水分状况,保证了核桃树体的生长发育的水分需求。2014 年,在干旱季节 6 月份及 10 月份以后,即在果实速长期、果实采收后,覆盖处理的土壤含水量均在 13%以上,而 CK 已经接近临界值甚至临界值以下。而在雨季 7、8 月份,覆盖处理的土壤质量含水量始终处于较高水平,但均在 20%以下,未超出核桃根系正常生长的适宜范围。

由图 3、图 4 可见,在核桃整个生长期内,20—40 cm 土层的土壤质量含水量状况变化趋势与 0—20 cm 土层基本相同,覆盖处理该土层的土壤质量含水量均极显著高于未覆盖的 CK。其中,覆盖牛粪的极显著高于其他覆盖处理及 CK,覆盖碎木屑的极显著高于覆盖苜蓿的及 CK 的,覆盖苜蓿的极显著高于 CK 的。由此认为,

覆盖可以提高生长期内 20—40 cm 土层的土壤含水量,显著改善核桃根系的水环境,使其更适宜核桃根系的生长发育。但在干旱季节 6 月份,仅有覆盖牛粪处理该土层的土壤质量含水量在 13%以上,其他处理均在临界值及以下。

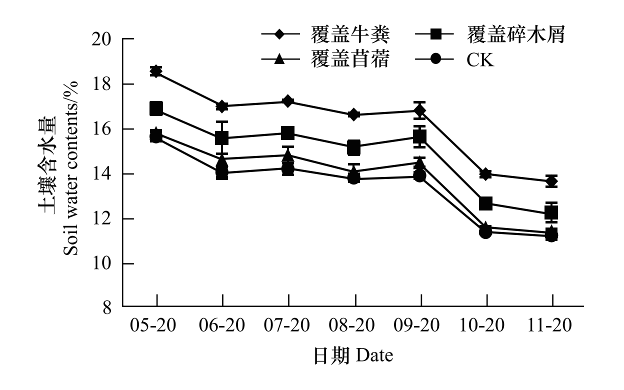



图 1　2013 年覆盖处理 0—20 cm 土层土壤含水量

Fig.1　The soil water contents of 0—20 cm layer in 2013

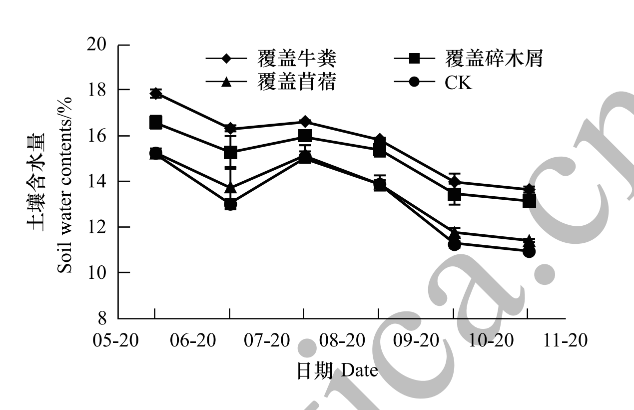



图 2　2014 年覆盖处理 0—20 cm 土层土壤含水量

Fig.2　The soil water contents of 0—20 cm layer in 2014

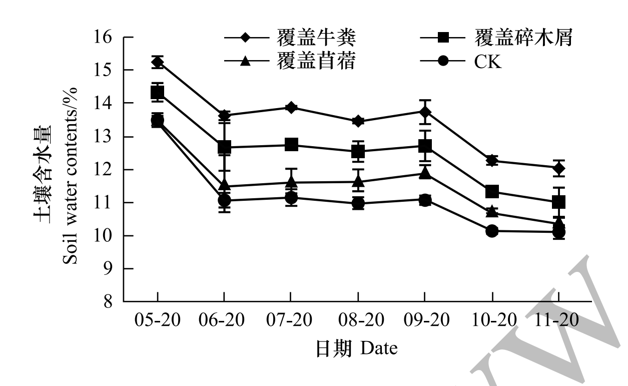



图 3　2013 年覆盖处理 20—40 cm 土层土壤含水量

Fig.3　The soil water contents of 20—40 cm layer in 2013

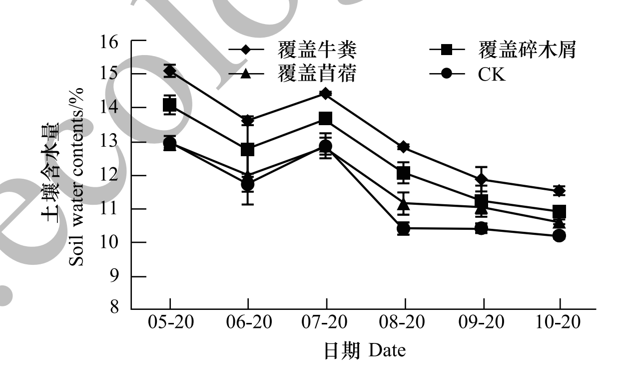



图 4　2014 年覆盖处理 20—40 cm 土层土壤含水量

Fig.4　The soil water contents of 20—40 cm layer in 2014

由图 5、图 6 可见,覆盖对 40—60 cm 土层土壤的质量含水量影响不大,各处理间无显著差异,但覆盖处理的土层土壤质量含水量均高于未覆盖的 CK。由此可知,覆盖在一定程度上改善了较深土层的土壤水分状况,但影响不显著。

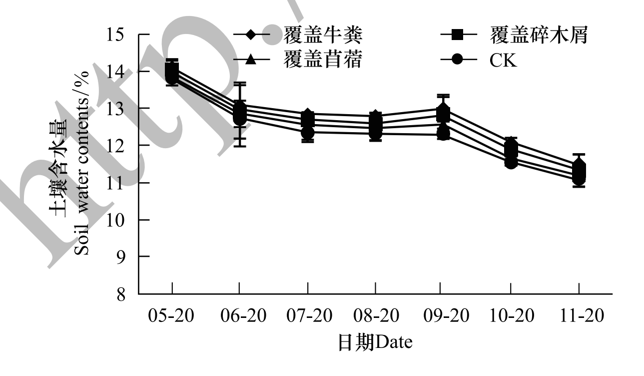



图 5　2013 年覆盖处理 40—60 cm 土层土壤含水量

Fig.5　The soil water contents of 40—60 cm layer in 2013

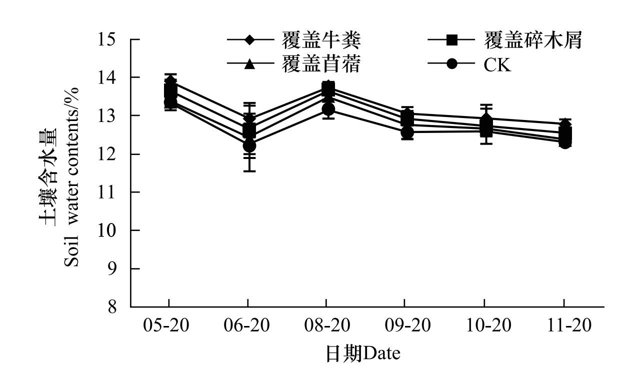



图 6　2014 年覆盖处理 40—60 cm 土层土壤含水量

Fig.6　The soil water contents of 40—60 cm layer in 2014

### 2.1.2 地面覆盖对园地土壤水分稳定性的影响

覆盖处理不同土层生长期土壤水分稳定性指标如表 1。0—20 cm 土层,2013 年,覆盖处理的生长期土壤质量含水量均高于未覆盖的 CK,覆盖牛粪和碎木屑处理的平均质量含水量显著高于覆盖苜蓿和未覆盖的 CK;整个生长期,覆盖处理的质量含水量变化最大变幅、变异系数与未覆盖的 CK 之间无显著差异。而 2014 年,覆盖处理的生长期土壤质量含水量均高于未覆盖的 CK;与 2013 年相比,覆盖处理的土壤质量含水量变化的最大变幅及变异系数均下降,且均显著小于未覆盖的 CK,这表明连年覆盖可以有效提高土壤含水量,稳定土壤含水量,降低土壤水分的变化幅度,改善土壤水环境。

20—40 cm 土层,该土层为核桃根系的主要分布区。综合两个连续生长期的数据来看,覆盖处理的土壤质量含水量均高于未覆盖 CK,但仅覆盖牛粪处理的土壤质量含水量始终在 13%以上,即保持在核桃正常生长所需水分条件范围内,而其它处理及 CK 均在 13%以下;覆盖处理的土壤质量含水量变化最大变幅及变异系数均显著小于未覆盖的 CK。与 2013 年相比,2014 年覆盖后,覆盖处理的土壤质量含水量变化最大变幅及变异系数均有所下降,这表明覆盖可以在一定程度上稳定该土层的土壤水分状况。

40—60 cm 土层,各覆盖处理的土壤质量含水量、变异系数与未覆盖的 CK 之间无显著差异。

表 1 覆盖处理园地土壤质量含水量/%

Table 1 The soil water contents of mulching treatments

| 土层/cm Layer | 处理 Treatment | 2013 年 | | | 2014 年 | | | 总均值/% Total average | 总变异系数/% Total variable coefficient |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 均值/% Average | 最大变幅/% Maximum amplitude | 变异系数/% Variable coefficient | 均值/% Average | 最大变幅/% Maximum amplitude | 变异系数/% Variable coefficient | | |
| 0—20 | 覆盖牛粪 | 16.26a | 2.84a | 11.02a | 15.72a | 1.86c | 9.27c | 16.01a | 10.18b |
| | 覆盖碎木屑 | 14.85b | 2.99a | 11.64a | 14.98b | 1.95c | 10.27c | 14.91b | 10.40b |
| | 覆盖苜蓿 | 13.83c | 2.92a | 12.14a | 13.56c | 2.17b | 12.15b | 13.71c | 11.68a |
| | CK | 13.46c | 2.53a | 11.85a | 13.23c | 2.63a | 13.96a | 13.36c | 12.32a |
| 20—40 | 覆盖牛粪 | 13.46a | 1.62b | 8.31b | 13.23a | 1.58b | 7.96b | 13.35a | 8.07b |
| | 覆盖碎木屑 | 12.48b | 1.65b | 10.31a | 12.46a | 1.61b | 9.49b | 12.47a | 8.89b |
| | 覆盖苜蓿 | 11.64c | 1.94b | 10.61a | 11.77ab | 1.71b | 9.70b | 11.70a | 9.06ab |
| | CK | 11.14c | 2.42a | 11.03a | 11.43b | 2.44a | 11.11a | 11.28a | 10.19a |
| 40—60 | 覆盖牛粪 | 12.78 | 1.03 | 6.38 | 13.23 | 0.98 | 3.65 | 12.99 | 5.74 |
| | 覆盖碎木屑 | 12.61 | 1.11 | 6.78 | 13.03 | 1.05 | 3.67 | 12.81 | 5.69 |
| | 覆盖苜蓿 | 12.46 | 1.12 | 7.03 | 12.85 | 0.96 | 3.80 | 12.64 | 5.66 |
| | CK | 12.32 | 1.14 | 7.06 | 12.71 | 1.14 | 4.00 | 12.50 | 5.37 |

## 2.2 地面覆盖对土壤通气状况的影响

覆盖处理 0—60 cm 土层土壤的通气状况相关指标如表 2。与未覆盖的 CK 相比,覆盖处理土壤容重均有所降低,其中,覆盖牛粪和覆盖碎木屑处理的土壤容重显著低于未覆盖的 CK,但二者无显著差异,覆盖苜蓿处理与未覆盖 CK 之间无显著差异。由表 2 还可以看出,各处理的毛管孔隙度及总孔隙度间差异一致,均表现为覆盖处理显著高于未覆盖的 CK,覆盖牛粪处理显著高于覆盖碎木屑和苜蓿处理,覆盖碎木屑处理与覆盖苜蓿处理之间无显著差异。土壤容重和土壤孔隙度是土壤通气状况的决定性因素,二者也直接影响着土壤涵养水分的能力。各处理的毛管持水量与最大持水量差异一致,均表现为覆盖处理极显著高于 CK,其中,覆盖牛粪处理极显著高于覆盖碎木屑处理,二者均极显著高于苜蓿处理,三者均极显著高于 CK。

## 2.3 地面覆盖对土壤养分含量的影响

覆盖处理 0—60 cm 土层的养分含量如表 3。覆盖处理的土壤有机质和全磷含量均极显著高于未覆盖的 CK,其它养分含量均显著高于未覆盖的 CK;其中,覆盖牛粪处理的土壤有机质含量和全磷含量均极显著高于覆盖碎木屑、覆盖苜蓿处理,其他养分含量均显著高于覆盖碎木屑、覆盖苜蓿处理;而覆盖苜蓿处理仅土壤全氮含量显著高于覆盖碎木屑处理,这两个处理的其它养分指标含量均无显著差异。土壤中的矿质营养是植物生长所需营养的主要来源,而土壤中速效养分才是植物可以直接吸收利用的养分,其含量与有机质含量、全

氮、全磷、全钾含量直接相关,但其所占比例极小,由表 3 可知,覆盖处理的速效氮、磷、钾含量均显著高于未覆盖的 CK,其中,覆盖牛粪的速效养分含量最高,显著高于其他处理。由此可知,覆盖可以一定程度上改善土壤的养分状况,只是因覆盖材料的不同,覆盖效应存在一定的差异。

**表 2　覆盖处理 0—60 cm 土层土壤通气状况**

**Table 2　The soil aeration condition of mulching treatments in 0—60 cm layer**

| 处理 Treatment | 土壤容重 Soil bulk density/($g/cm^3$) | 孔隙度 Porosity/% | | | 持水量 Water capacity/($t/hm^2$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 总孔隙度 Total porosity | 非管孔隙度 Non-capillary porosity | 毛管孔隙度 Capillary porosity | 毛管持水量 Capillary water capacity | 最大持水量 Maximum water capacity |
| 覆盖牛粪 Dairy manure | 1.34±0.18c | 37.62±5.07a | 3.07±0.13a | 34.55±3.05a | 691.07±21.36A | 752.40±36.13A |
| 覆盖碎木屑 Wood chips | 1.38±0.28bc | 36.19±1.31b | 3.05±0.72ac | 33.14±2.07b | 662.87±25.46B | 723.80±32.14B |
| 覆盖苜蓿 Alfalfa | 1.43±0.11ab | 35.29±4.33b | 2.97±0.86ab | 32.33±4.37b | 646.53±33.20C | 705.87±27.07C |
| CK Control | 1.48±0.21a | 29.03±3.18c | 2.80±0.22b | 26.24±2.25c | 524.73±18.14D | 580.67±19.09D |

不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

**表 3　覆盖处理 0—60 cm 土层养分含量**

**Table 3　The nutrient contents of mulching treatments in 0—60 cm soil layer**

| 处理 Treatment | 有机质 Organic matter /(g/kg) | 全氮 Total N /(g/kg) | 全磷 Total P /(g/kg) | 全钾 Total K /(g/kg) | 碱解氮 Available N /(g/kg) | 速效磷 Available P /(g/kg) | 速效钾 Available K /(g/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 覆盖牛粪 Dairy manure | 10.56±1.16A | 0.95±0.02a | 0.89±0.02A | 9.00±0.32a | 0.043±0.02a | 0.030±0.01a | 0.048±0.07a |
| 覆盖碎木屑 Wood chips | 8.16±0.96B | 0.76±0.03c | 0.77±0.08B | 8.16±0.13b | 0.038±0.01b | 0.026±0.04b | 0.036±0.02b |
| 覆盖苜蓿 Alfalfa | 7.81±0.58B | 0.91±0.05b | 0.73±0.06B | 8.12±0.76b | 0.036±0.01b | 0.024±0.03b | 0.034±0.05b |
| CK Control | 6.56±0.32C | 0.72±0.02c | 0.48±0.04C | 7.33±0.54c | 0.029±0.03c | 0.019±0.02c | 0.027±0.05c |

### 2.4　地面覆盖对土壤微生物区系的影响

覆盖处理 0—60 cm 土层三大微生物区系的微生物数量如表 4。覆盖处理的细菌、真菌、放线菌数量及微生物总量均极显著高于未覆盖的 CK。其中,覆盖牛粪处理的微生物数量最高,极显著高于其他处理,微生物总量为 430.94×$10^4$个/g;覆盖碎木屑处理的细菌数量和微生物总量极显著高于覆盖苜蓿处理,覆盖苜蓿处理的真菌数量极显著高于覆盖碎木屑处理,覆盖碎木屑处理的放线菌数量与覆盖苜蓿处理之间无显著差异。土壤中微生物多少与土壤通气状况、土壤温度、土壤湿度都密切相关,同时微生物的活动也影响着土壤的通气状况以及土壤中矿物质、腐殖质的矿化和分解作用。覆盖极显著增加了土壤微生物数量,从而改善了土壤的通气状况、养分状况等。Shannon-Wiener 指数(Shannon-Wiener Index)和 Simpson′s 多样性指数(Simpson′s Diversity Index)常用来表征群落多样性,由表 4 可知,覆盖处理的 Shannon-Wiener 指数($H$ 值)和 Simpson′s 多样性指数($D$ 值)均显著高于未覆盖的 CK,因此认为,覆盖显著提高了土壤中三大微生物群落多样性,使土壤中的微生物更丰富、更均匀,这可能是由于覆盖改变了土壤温度、湿度、通气性等土壤环境条件,有利于土壤微生物的生长繁殖。

**表 4　覆盖处理 0—60 cm 土层三大微生物区系的微生物数量及多样性指数**

**Table 4　The microflora quantity and diversity index of mulching treatments in 0—60 cm layer**

| 处理 Treatment | 细菌/(×$10^4$个/g) Bacteria | 真菌/(×$10^4$个/g) Fungi | 放线菌/(×$10^4$个/g) Actinomyces | 总量/(×$10^4$个/g) Total | $H$ | $D$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 覆盖牛粪 Dairy manure | 371.76±11.25A | 55.69±1.23A | 3.49±0.32a | 430.94±12.80A | 0.62±0.02a | 0.24±0.01a |
| 覆盖碎木屑 Wood chips | 184.08±13.02B | 22.2±1.12B | 2.59±0.12b | 208.87±14.26B | 0.58±0.02b | 0.21±0.01a |
| 覆盖苜蓿 Alfalfa | 170.63±31.57C | 10.55±0.96C | 2.24±0.28c | 183.42±32.81C | 0.41±0.01c | 0.13±0.01b |
| CK Control | 152.94±8.69D | 6.27±0.58D | 1.25±0.08d | 160.46±9.35D | 0.30±0.02d | 0.09±0.02c |

$H$: Shannon-Wiener 指数 Shannon -Wiener index, $D$: Simpson′s 多样性指数 Simpson′s diversity index

### 2.5 地面覆盖对土壤综合肥力水平的影响

#### 2.5.1 土壤肥力因子的主成分分析

以土壤质量含水量、土壤容重、土壤总孔隙度、有机质、全氮、全磷、全钾以及微生物数量等 10 个指标进行主成分分析的结果如表 5、6，基础数据均为 2014 年底测定。共选出 3 个特征值大于 1 的主成分因子，第一主成分因子的方差贡献率为 46.65%，土壤孔隙度及全部土壤养分信息在该主成分载荷较高，因此可将 $F_1$ 定义为养分因子；第二主成分因子的方差贡献率为 36.18%，包含了土壤水分及所有的微生物信息，因此可将 $F_2$ 定义为微生物因子；第三主成分因子中，土壤容重的载荷较高，因此可将 $F_3$ 定义为土壤密度因子。第一、二主成分因子的累积方差贡献率为 82.83%，基本涵盖了所有的理化性质及微生物信息，可以有效反应土壤的肥力特征；3 个主成分的累积贡献率为 93.69%，可以全面反应土壤的肥力特征。

**表 5 各主成分因子的特征值、方差贡献率**

**Table 5 Eigenvalues and proportions of the components**

| 主成分因子 Component | 特征值 Eigenvalue | 方差贡献率/% Proportion | 累计贡献率/% Cumulative |
|---|---|---|---|
| 1 | 5.421 | 46.651 | 46.651 |
| 2 | 3.782 | 36.179 | 82.830 |
| 3 | 1.385 | 10.860 | 93.690 |

**表 6 主成分因子载荷矩阵**

**Table 6 Component Matrixes**

| 因子 Factor | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | 因子 Factor | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 土壤含水量 Water content | 0.114 | −0.931 | −0.173 | 土壤容重 Soil bulk density | 0.011 | 0.121 | 0.939 |
| 土壤孔隙度 Soil porosity | 0.951 | −0.121 | −0.158 | 有机质 Organic matter | 0.721 | −0.763 | −0.006 |
| 全氮 Total N | 0.947 | −0.301 | 0.322 | 全磷 Total P | 0.996 | −0.294 | −0.052 |
| 全钾 Total K | 0.712 | −0.738 | 0.315 | 细菌 Bacteria | 0.415 | −0.963 | −0.048 |
| 真菌 Fungi | 0.830 | −0.565 | 0.306 | 放线菌 Actinomyces | 0.837 | −0.617 | −0.122 |

将各主成分因子载荷转换成规格化的特征向量，得出 3 个反应土壤肥力特征的主成分表达式：

$$Y_1 = 0.049X_1 + 0.005X_2 + 0.451X_3 + 0.310X_4 + 0.407X_5 + 0.428X_6 + 0.306X_7 + 0.178X_8 + 0.356X_9 + 0.359X_{10}$$

$$Y_2 = -0.530X_1 + 0.062X_2 - 0.062X_3 - 0.392X_4 - 0.155X_5 - 0.151X_6 - 0.379X_7 - 0.516X_8 - 0.291X_9 - 0.317X_{10}$$

$$Y_3 = -0.147X_1 + 0.883X_2 - 0.134X_3 - 0.005X_4 + 0.274X_5 - 0.044X_6 + 0.268X_7 - 0.041X_8 + 0.260X_9 - 0.104X_{10}$$

式中，$X_1$、$X_2$、$X_3$、$X_4$、$X_5$、$X_6$、$X_7$、$X_8$、$X_9$、$X_{10}$ 分别代表土壤质量含水量、土壤容重、土壤总孔隙度、有机质、全氮、全磷、全钾、细菌、真菌、放线菌。

4 个处理各指标的标准化值代入表达式，以各主成分的方差贡献率为权数，对 3 个主成分加权求和，得到各处理综合肥力水平的得分，如表 7。覆盖处理的土壤肥力水平均高于未覆盖的 CK，这说明覆盖可以在不同程度上改善土壤肥力状况。

**表 7 各处理的主成分因子得分及土壤肥力水平综合得分**

**Table 7 Principal component factor scores and soil fertility level comprehensive scores**

| 处理 Treatments | $Y_1$ | $Y_2$ | $Y_3$ | 综合得分 Comprehensive scores | 综合排名 Ranking |
|---|---|---|---|---|---|
| 覆盖牛粪 Dairy manure | 0.33 | 0.66 | 1.57 | 0.61 | 1 |
| 覆盖碎木屑 Wood chips | 2.94 | −3.52 | 0.28 | 0.26 | 2 |
| 覆盖苜蓿 Alfalfa | 0.30 | 0.28 | −1.27 | 0.09 | 3 |
| CK Control | −3.57 | 2.58 | −0.58 | −0.96 | 4 |

### 2.5.2　土壤肥力因子的通径分析

在主成分分析的基础上,采用通径分析的方法,研究了土壤质量含水量、土壤容重、土壤总孔隙度、有机质、全氮、全磷、全钾以及微生物数量等 10 个指标与土壤肥力水平的关系,如表 8。由表 8 可知,土壤质量含水量、有机质、全氮、全磷对土壤肥力水平产生直接正效应,并且这 4 个指标的直接通径系数较大,土壤容重对土壤肥力水平产生直接负效应。土壤孔隙度主要通过土壤质量含水量、土壤细菌数量等因子对土壤肥力水平产生正效应。而土壤的微生物数量在直接产生正效应的同时,还通过土壤孔隙度因子对土壤肥力水平产生正效应。

各土壤指标对土壤肥力水平的综合效应系数为直接通径系数和间接通径系数之和,通过计算可知综合效应系数表现为 $X_4>X_5>X_7>X_6>X_1>X_3>X_8>X_9>X_{10}>X_2$,其中,土壤容重 $X_2$ 由于直接负效应的抵消,综合效应系数较低。

**表 8　各土壤指标与土壤肥力水平间的通径系数**

**Table 8　Path coefficients between soil indexes and soil fertility level**

| 项目 Item | 直接通径系数 Direct path coefficients | 间接通径系数 Indirect path coefficients | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $X_1\to Y$ | $X_2\to Y$ | $X_3\to Y$ | $X_4\to Y$ | $X_5\to Y$ | $X_6\to Y$ | $X_7\to Y$ | $X_8\to Y$ | $X_9\to Y$ | $X_{10}\to Y$ |
| $X_1$ | 0.539 | — | -0.103 | 0.039 | 0.013 | 0.008 | 0.064 | 0.011 | 0.025 | 0.097 | 0.057 |
| $X_2$ | -0.623 | 0.097 | — | 0.196 | 0.055 | 0.054 | 0.186 | 0.047 | 0.031 | 0.082 | 0.047 |
| $X_3$ | 0.077 | 0.217 | -0.357 | — | 0.002 | 0.059 | 0.034 | 0.061 | 0.412 | 0.097 | 0.131 |
| $X_4$ | 0.681 | 0.053 | -0.078 | 0.054 | — | 0.072 | 0.027 | 0.056 | 0.065 | 0.008 | 0.040 |
| $X_5$ | 0.418 | 0.091 | -0.022 | 0.062 | 0.211 | — | 0.032 | 0.007 | 0.037 | 0.050 | 0.090 |
| $X_6$ | 0.368 | 0.017 | -0.043 | 0.017 | 0.133 | 0.048 | — | 0.046 | 0.063 | 0.068 | 0.041 |
| $X_7$ | 0.323 | 0.025 | -0.059 | 0.015 | 0.228 | 0.015 | 0.043 | — | 0.053 | 0.046 | 0.099 |
| $X_8$ | 0.160 | 0.011 | -0.107 | 0.211 | 0.025 | 0.119 | 0.193 | 0.012 | — | 0.038 | 0.027 |
| $X_9$ | 0.116 | 0.055 | -0.144 | 0.255 | 0.071 | 0.068 | 0.053 | 0.059 | 0.075 | — | 0.057 |
| $X_{10}$ | 0.120 | 0.071 | -0.026 | 0.171 | 0.086 | 0.088 | 0.036 | 0.026 | 0.039 | 0.053 | — |

$X_1$—$X_{10}$分别代表土壤质量含水量、土壤容重、土壤总孔隙度、有机质、全氮、全磷、全钾及微生物数量,$Y$ 代表土壤肥力 Represent water content, soil bulk density, soil porosity, organic matter, total N, total P, total K, bacteria, fungi, actinomyces and $Y$ represents soil fertility level

## 3　结论与讨论

土壤水分是植物体生长所需水分的直接来源,其直接决定着植物体的生长状况。有研究表明,核桃正常生长发育所需水分范围为田间最大持水量的 55%—90%,即土壤质量含水量在 13%—22%之间,最适田间最大持水量为 60%—80%[18]。在本研究中,干旱季节,即果实速长期和果实采收后,覆盖处理的土壤质量含水量均在核桃树正常生长需水量范围内,而 CK 的土壤质量含水量部分时期已经处于临界值甚至临界值以下。在整个核桃生长期内,覆盖处理的土壤质量含水量均大于未覆盖的 CK,变异系数、最大变幅均小于未覆盖 CK,这表明覆盖不仅可以提高土壤含水量,而且在一定程度上稳定了土壤水分状况。这一方面是由于覆盖物的保水作用,覆盖物可以有效地隔绝交换热,对地温有一定的调节作用,减少了地面蒸发和树体蒸腾作用,从而提高了土壤水分的利用率;另一方面是随着覆盖材料的不断分解、淋溶,土壤中的腐殖质含量大量增加,土壤中的微生物生长繁殖活跃,从而改善了土壤孔隙状况,使根际土壤可以有效地蓄积较 CK 更多的灌溉水、雨水,以保证土壤质量含水量处在正常所需的水平。

土壤孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,是土壤中养分、水分、空气和微生物等的迁移通道、贮存库和活动场所[15]。而毛管孔隙度的大小反映了植被可吸持水分的能力[19]。本研究表明,覆盖均降低了土壤容重,增加了毛管孔隙,即提高了土壤的供水能力,其中覆盖牛粪的处理效果最好,土壤容重下降幅度最大,这是由于随着覆盖材料的分解,土壤中腐殖质含量显著增加,土壤中微生物数量及活性增加,从而改变了土壤的孔隙状况,提高了土壤的持水蓄水能力,有效改善了土壤的通气状况。此外,牛粪作为供肥覆盖物,避免了开沟

施肥过程对土壤结构的破坏,有利于土壤团粒结构、土壤孔隙的形成和发育。

通过本研究可知,地面覆盖可以显著提高土壤养分含量,这是由于随着覆盖物的不断分解,营养物质随着雨水、灌溉水淋溶到土壤中,提高了土壤养分含量,另一方面土壤通气状况得到改善,微生物活动活跃,有利于土壤中矿物质及有机质的分解作用和矿化作用。其中,覆盖牛粪的效果更显著,这是由于牛粪本身含有丰富的腐殖质,而腐殖质是矿质元素的重要来源之一,也有研究表明,覆盖牛粪、秸秆及免耕可显著提高根际土壤有效氮、磷、钾及有机质含量[20-21],平衡土壤养分关系[22-23],与本研究结果一致。

有研究表明,与传统耕作方式相比,保护性耕作有利于丰富土壤微生物多样性[24-26],在一定程度上提高了土壤生态系统的稳定性[27-28]。本研究中,覆盖处理的真菌、细菌、放线菌的数量均显著高于未覆盖的 CK,即增加了微生物的数量,说明覆盖有利于微生物的生长繁殖。覆盖处理的 Shannon-Wiener 指数指数和 Simpson′s 多样性指数均显著高于未覆盖的 CK,说明覆盖可以提高土壤微生物群落多样性。土壤微生物在土壤有机质和矿物质的分解过程中有不可替代的作用,其代谢活动亦有利于土壤团粒结构的形成。因此,丰富的微生物类群不仅提高了土壤养分的转化和积累,同时提高了土壤生态系统的多样性、稳定性。

通过主成分分析的方法,综合评价了覆盖处理的肥力水平,覆盖处理的肥力水平均高于 CK,其中,覆盖牛粪处理的肥力水平最高,覆盖碎木屑处理次之,覆盖苜蓿处理最次,该试验基地覆盖材料充足,养牛场可以为其提供充足的牛粪,春季修剪出大量的树枝可以保证碎木屑需求,间作物苜蓿量亦充足,因此,该措施可行性较高。其它生产基地也可以就地取材,选择来源充足的覆盖材料。与传统的土壤管理模式相比,该地面覆盖模式更简单省力,且有利于土壤生态环境的发展。但是其对大气环境的影响,尤其是有机肥覆盖对环境的影响有待深入研究。

**参考文献(References):**


[1] 赵长增, 陆璐, 陈佰鸿. 干旱荒漠地区苹果园地膜及秸秆覆盖的农业生态效应研究. 中国生态农业学报, 2004, 12(1):155-158.

[2] Pande K K, Dimri D C, Singh S C. Effect of mulching on soil and leaf nutrient status of apple (malus domestica borkh). Progressive Horticulture, 2006, 38(1): 91-95.

[3] 孙萌, 宋新英, 李保国, 齐国辉, 张雪梅, 祁娇娇, 牛宝清, 张彦坤. 地面覆盖对核桃园地土壤理化性质的影响. 水土保持学报, 2014, 28(4): 158-162, 182-182.

[4] 尼群周, 石海强, 秦立者, 俎文芳, 徐国良, 杜纪壮, 刘建库. 苹果园地表覆盖方式对土壤含水量及果实品质的影响. 河北农业科学, 2010, 14(10): 18-21.

[5] 侯贤清, 李荣, 韩清芳, 王维, 贾志宽. 夏闲期不同耕作模式对土壤蓄水保墒效果及作物水分利用效率的影响. 农业工程学报, 2012, 28(3): 94-100.

[6] 韩丽娜, 丁静, 韩清芳, 丁瑞霞, 聂俊峰, 贾志宽, 李文静. 黄土高原区草粮(油)翻耕轮作的土壤水分及作物产量效应. 农业工程学报, 2012, 28(24): 129-137.

[7] 武际, 郭熙盛, 张祥明, 王允青, 许征宇, 鲁剑巍. 麦稻轮作下耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响. 农业工程学报, 2012, 28(3): 87-93.

[8] 曹燕荣, 谷继成, 王有年, 周泽福. 不同覆盖材料对圆黄梨幼树土壤性状及树体生长的影响. 北京农学院学报, 2010, 25(1): 5-8.

[9] Wortman S E. Diversification of organic cropping systems with cover crop mixtures: influence on weed communities, soil microbial community structure, soil moisture and nitrogen, and crop yield[D]. Lincoln, Nebraska: University of Nebraska, 2012.

[10] Brennan E B, Boyd N S, Smith R F, et al. Comparison of rye and legume-rye cover crop mixtures for vegetable production in California. Agronomy Journal, 2011, 103(2): 449-463.

[11] 米超, 罗艺, 米军红, 李生, 李强, 姜建初, 梁和. 免耕稻草覆盖对冬种马铃薯土壤微生物数量动态变化的影响. 广西职业技术学院学报, 2012, 5(2): 4-8.

[12] 陈珊, 陈双林. 集约经营对雷竹林生态系统稳定性的影响. 浙江农林大学学报, 2013, 30(4): 578-584.

[13] 刘洋, 史薪钰, 陈梦华, 李保国, 齐国辉, 张雪梅. 不同保水措施对退化干旱山地新植核桃园土壤养分和微生物的影响. 水土保持通报, 2015, 35(4): 218-222.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2007.

[15] 胡淑萍, 余新晓, 岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究. 水土保持学报, 2008, 22(1): 146-150.

[16] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986.

[17] 土壤微生物研究会. 土壤微生物实验法. 叶维青, 译. 北京: 科学出版社, 1983.

[18] 李保国, 齐国辉. 薄皮核桃标准化操作技术. 北京: 中国林业出版社, 2008.

[19] 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 邢先双, 赵玫. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征. 水土保持学报, 2004, 18(6): 1-5.

[20] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 杨世琦, 赵沛义. 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响. 生态学报, 2007, 27(9): 3778-3784.

[21] 李玉洁, 王慧, 赵建宁, 皇甫超河, 杨殿林. 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响. 应用生态学报, 2015, 26(3): 939-948.

[22] Wu J, Guo X S, Wang Y Q, Xu Z Y, Zhang X L, Lu J W. Decomposition characteristics of rapeseed and wheat straw under different water regimes and straw incorporating models. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2011, 9(2): 572-577.

[23] Nie S W, Chen Y Q, Egrinya E A, Sui P, Huang J X. Impacts of maize intercropping with ryegrass and alfalfa on environment in fields with nitrogen fertilizer over-dose. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 896-901.

[24] 蒋平安, 罗明, 蒋永衡, 杨玉海, 艾尔肯. 不同种植年限苜蓿地土壤微生物区系及商值($qMB$, $qCO_2$). 干旱区地理, 2006, 29(1): 115-119.

[25] 高云超, 朱文珊. 秸秆覆盖免耕土壤真菌群落结构与生态特征研究. 生态学报, 2001, 21(10): 1704-1710.

[26] 任万军, 刘代银, 吴锦秀, 伍菊仙, 陈德春, 杨文钰. 免耕高留茬抛秧对稻田土壤肥力和微生物群落的影响. 应用生态学报, 2009, 20(4): 817-822.

[27] 韩惠芳, 宁堂原, 田慎重, 王瑜, 王丙文, 仲惟磊, 李增嘉, 田欣欣. 土壤耕作及秸秆还田对夏玉米田杂草生物多样性的影响. 生态学报, 2010, 30(5): 1140-1147.

[28] 常显波, 刘举, 韩京龙, 苏宏. 不同种植年限苹果园土壤理化性质及微生物数量. 安徽农业科学, 2007, 35(5): 1423-1423, 1426-1426.